謎のX線放射の起源は太陽風だった

～「すざく」がとらえた地球近傍における太陽風からの輝線放射～

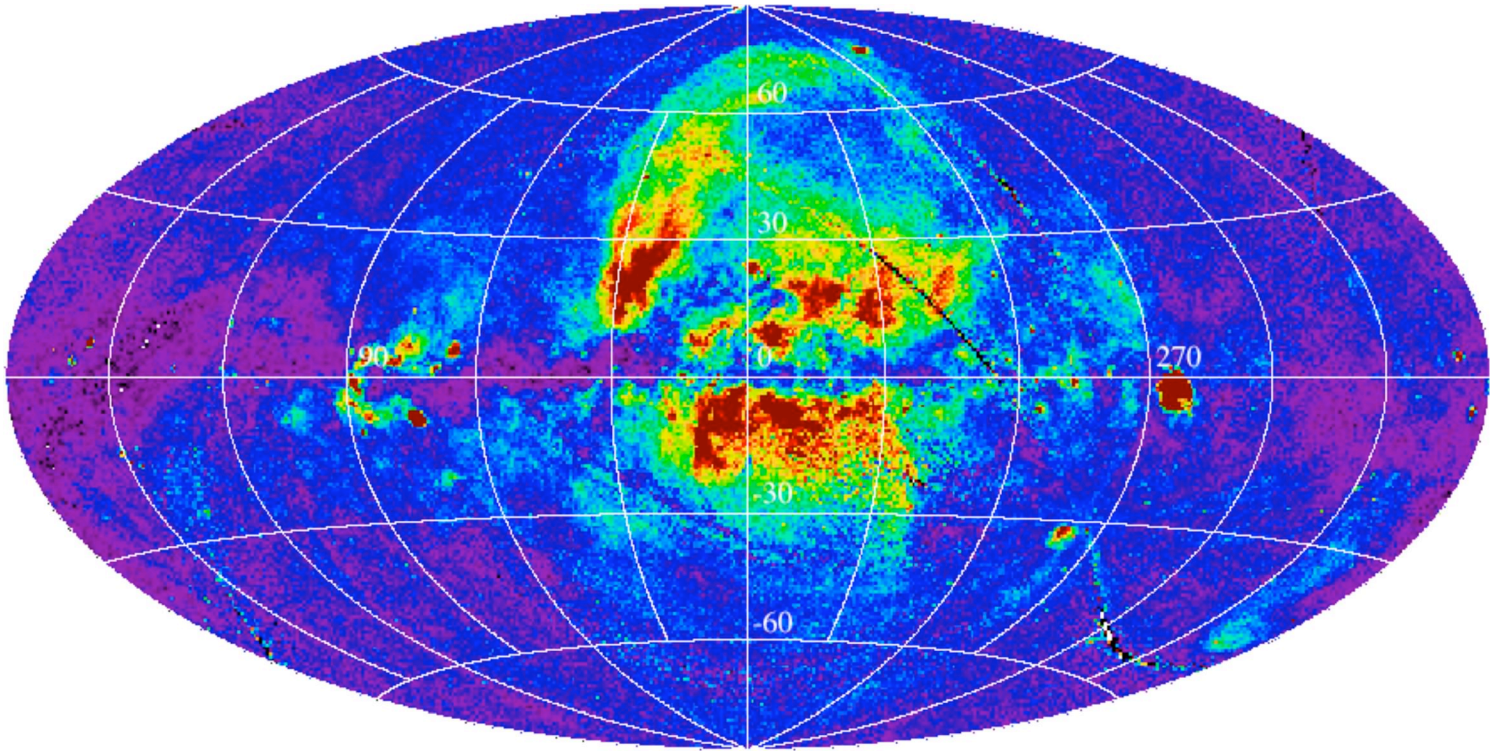
空間的に広がった低エネルギーX線に対する世界最高の優れたエネルギー分解能により、1990年代のローサット衛星以来観測者たちを悩ませていた謎のX線放射の起源が、地球磁気圏に入り込んだ太陽風であることの確証を得た。これは、地球磁気圏や太陽系の新しい研究手段を切り開く。

金沢大学大学院・自然科学研究科 助教授　藤本龍一
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部　教授　満田和久

謎のX線強度変動

(1990年代ドイツのローサット衛星)

個々の天体が存在しない方向からもX線はやってきている(X線背景放射)

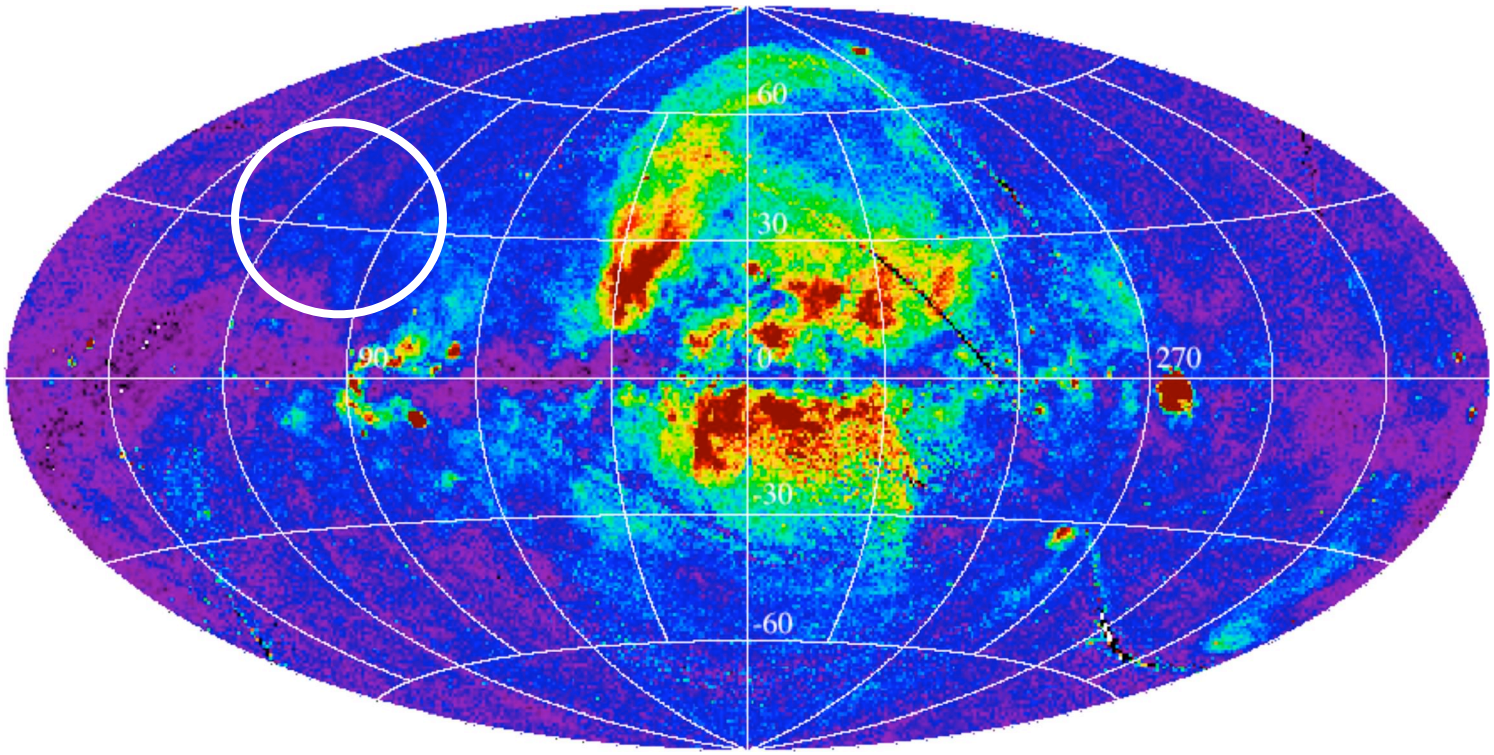


ローサット衛星による軟X線全天地図

謎のX線強度変動

(1990年代ドイツのローサット衛星)

個々の天体が存在しない方向からもX線はやってきている(X線背景放射)



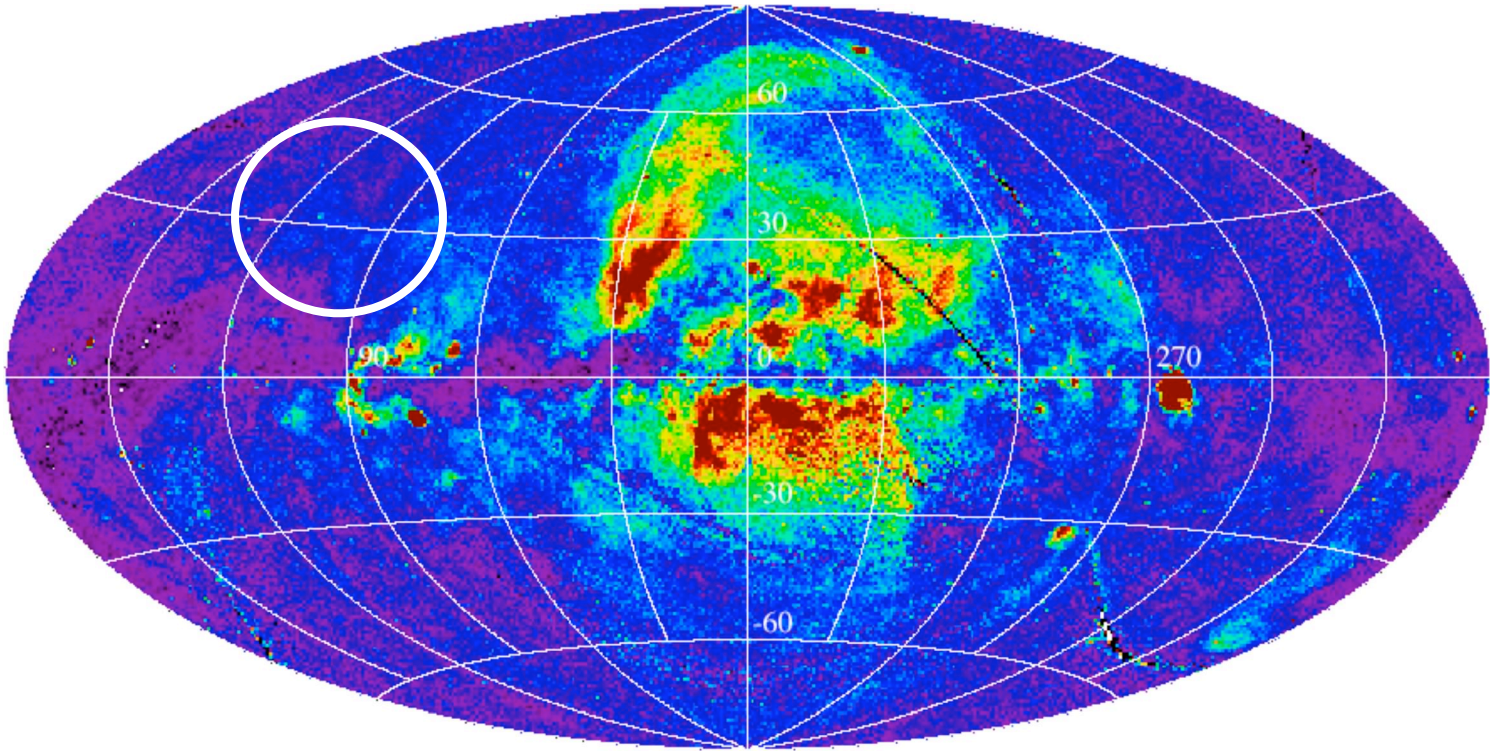
ローサット衛星による軟X線全天地図

謎のX線強度変動

(1990年代ドイツのローサット衛星)

個々の天体が存在しない方向からもX線はやってきている(X線背景放射)

それは、数100光年以上の大きさの領域からの放射であると考えられた。それならば時間変動はしないはずである。ところが、起源不明の謎の強度変動が観測された。衛星の位置や観測方向などと関係がないか調べたが全く原因はわからない。



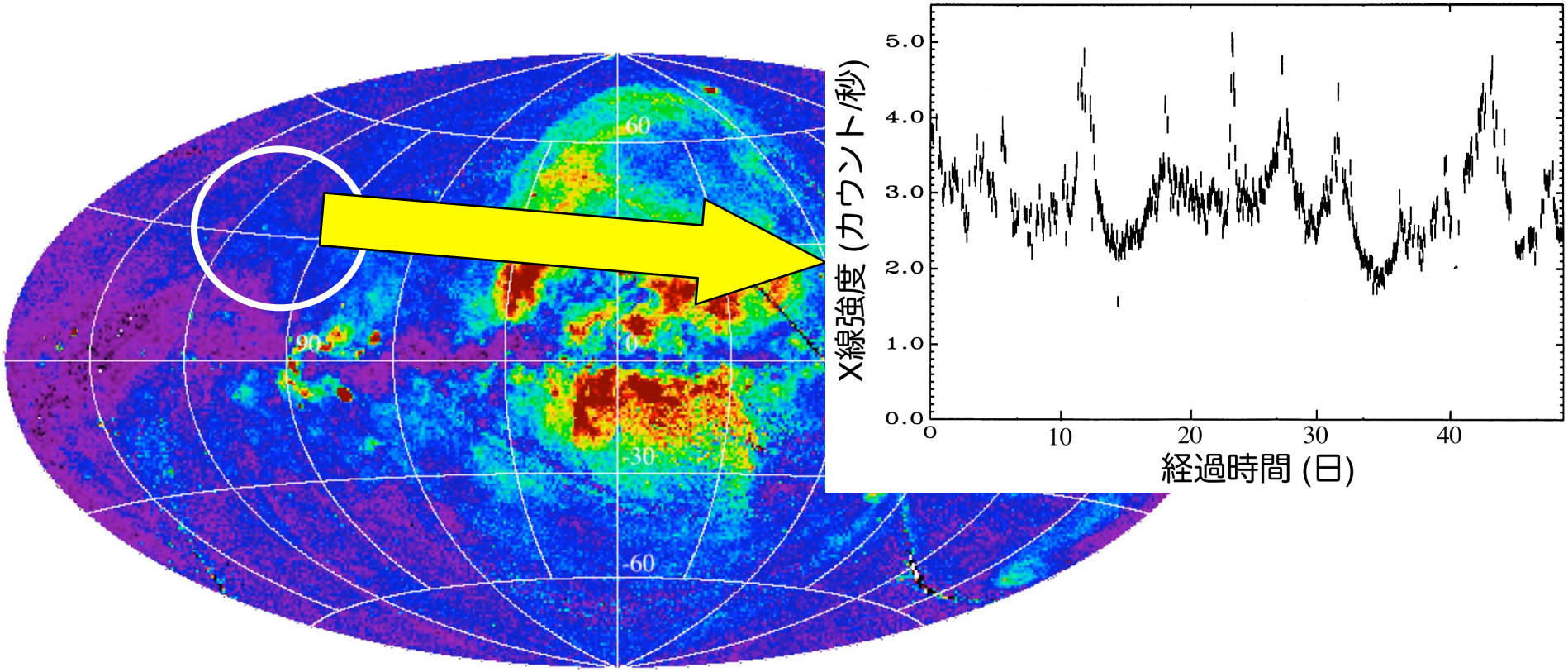
ローサット衛星による軟X線全天地図

謎のX線強度変動

(1990年代ドイツのローサット衛星)

個々の天体が存在しない方向からもX線はやってきている(X線背景放射)

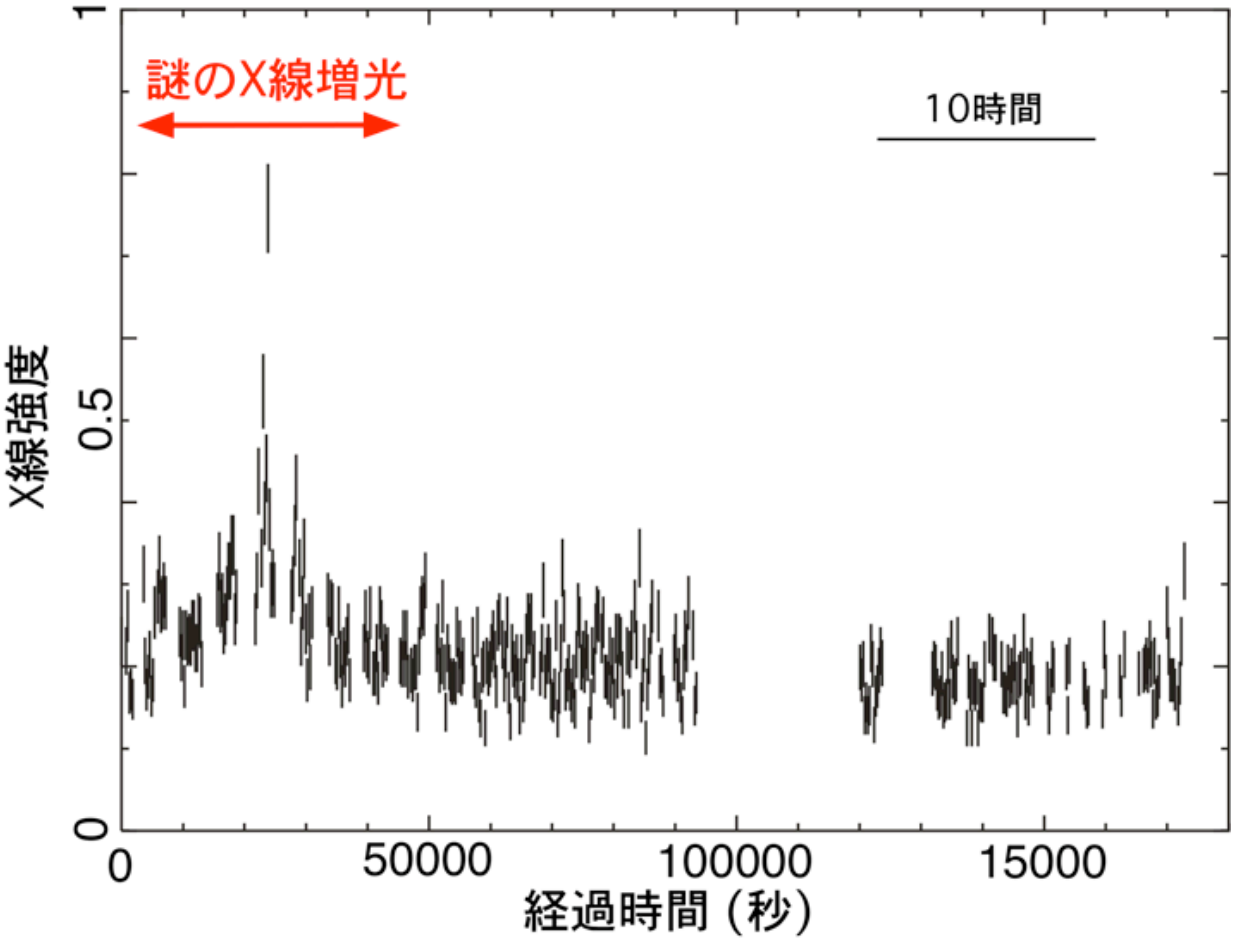
それは、数100光年以上の大きさの領域からの放射であると考えられた。それならば時間変動はしないはずである。ところが、起源不明の謎の強度変動が観測された。衛星の位置や観測方向などと関係がないか調べたが全く原因はわからない。



ローサット衛星による軟X線全天地図

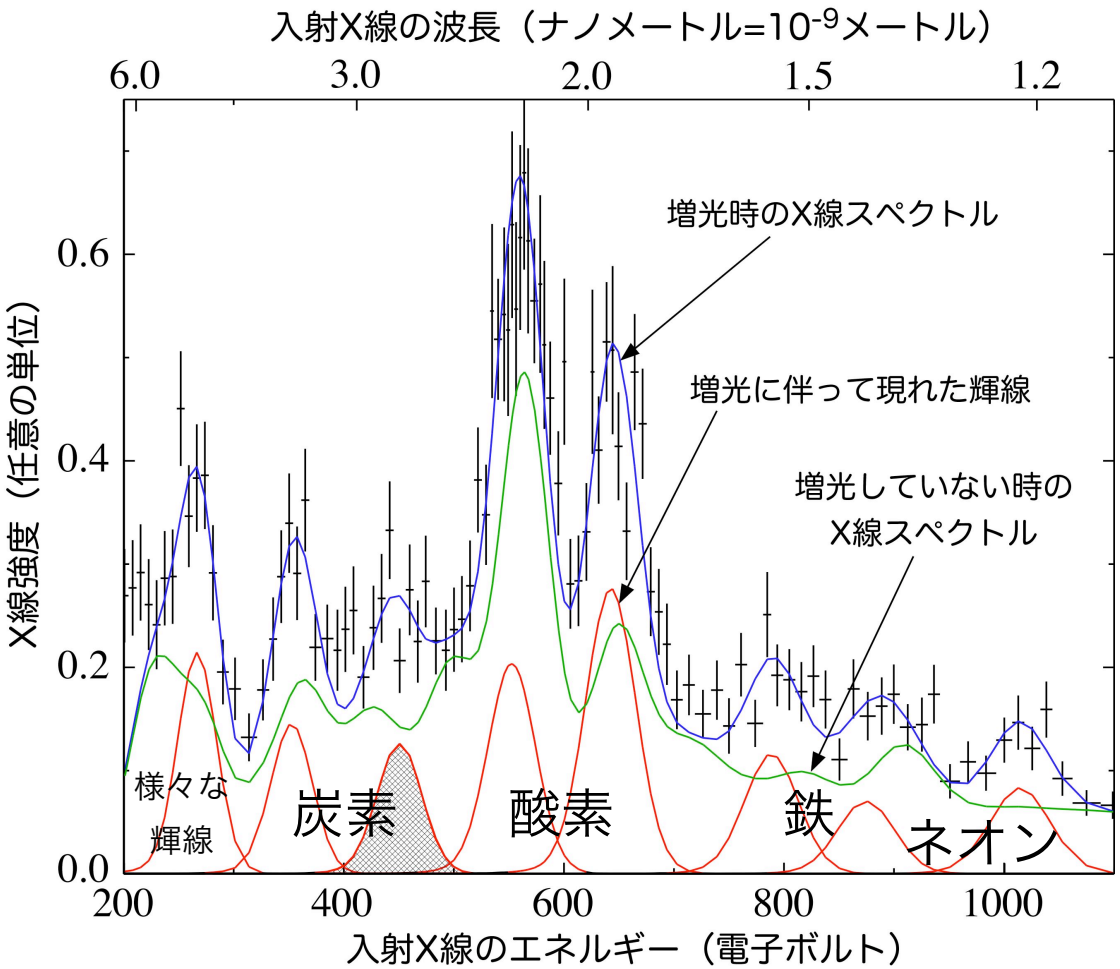
すざくが謎のX線増光をキャッチ

2005年9月、すざくが黄道北極近くの個々の天体のない方向を観測中に
謎のX線増光をとらえた



すざくによる謎のX線増光のスペクトル

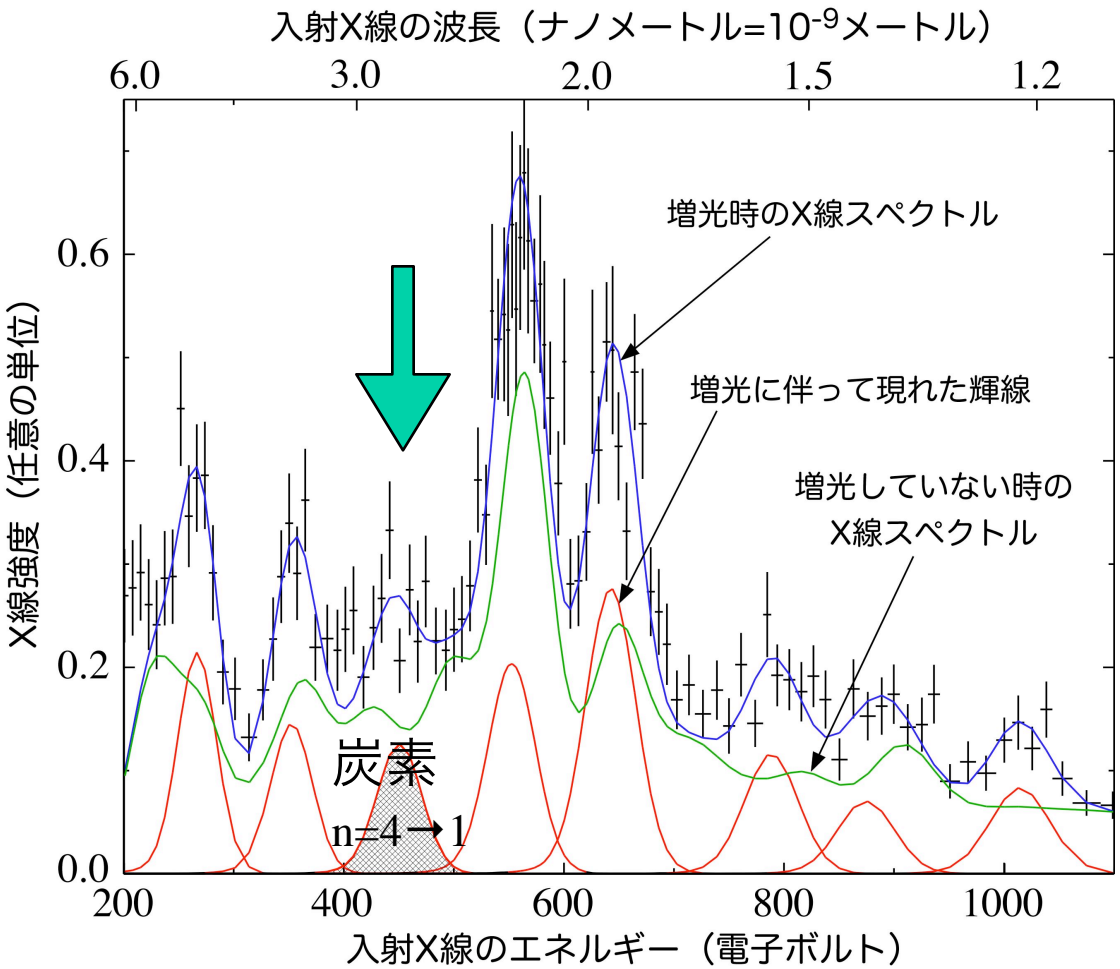
すざくによって得られたスペクトル



<1keV以下の広がったX線に対して、史上最高のエネルギー分解能を生かして、増光したX線は、高電離した炭素、酸素、ネオン、などの輝線放射であることを明らかにした。
さらに、、

謎のX線の増光中に謎の輝線？

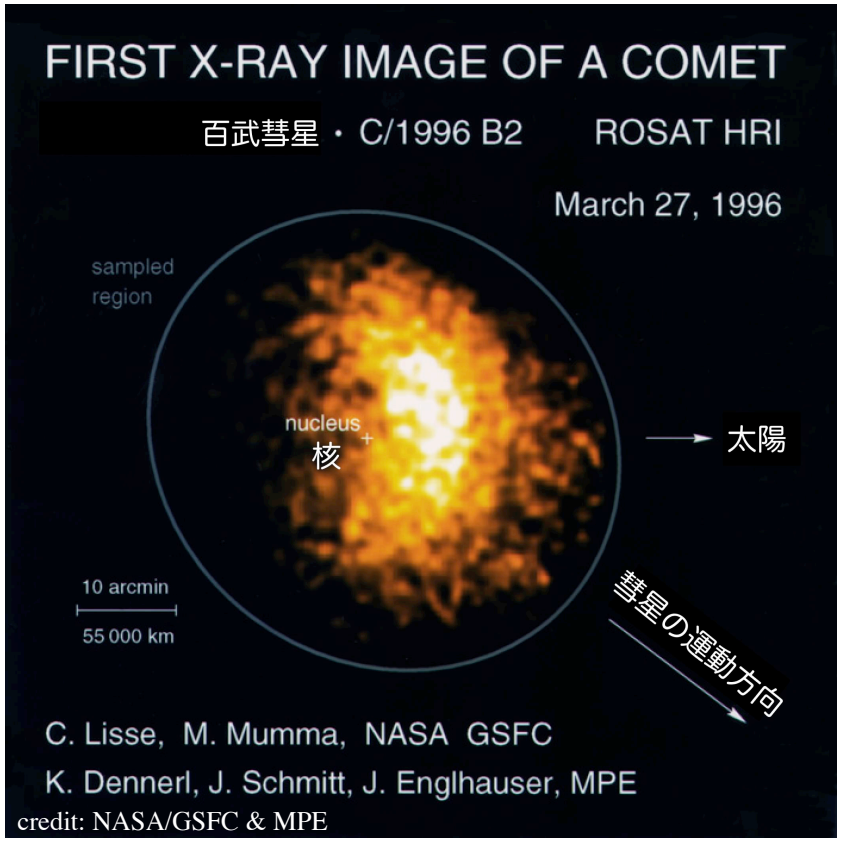
すざくによって得られたスペクトル



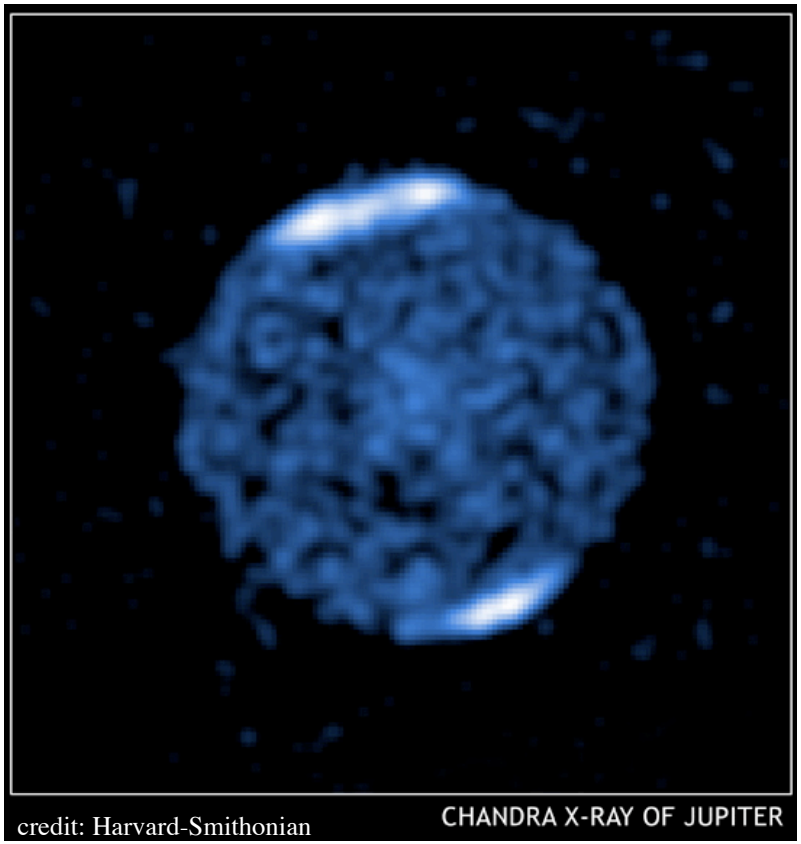
輝線放射は、普通は、高温プラズマから放射される。しかし、矢印の炭素の輝線は高温プラズマからは、これほど強くは放射されない。

電荷交換反応によりX線で輝く太陽系天体

1996年の百武彗星からのX線放射の発見から、高温プラズマ以外の、それまでは考えられてこなかった原因で太陽系内の天体がX線で輝いていることがわかってきた。
それは太陽風のイオンと彗星や木星磁気圏の中性物質の間の電荷交換反応である。

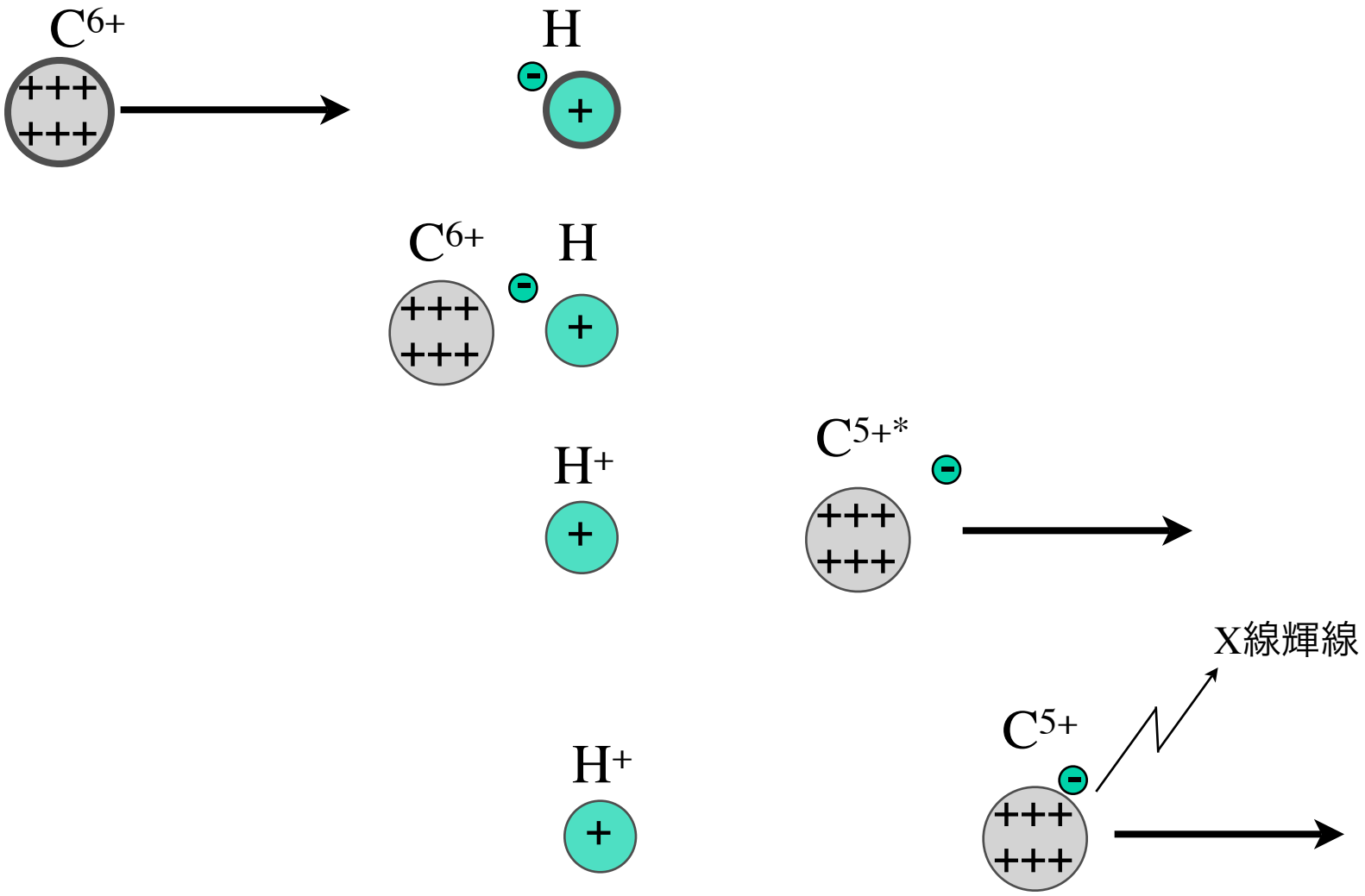


百武彗星（ローサット衛星）



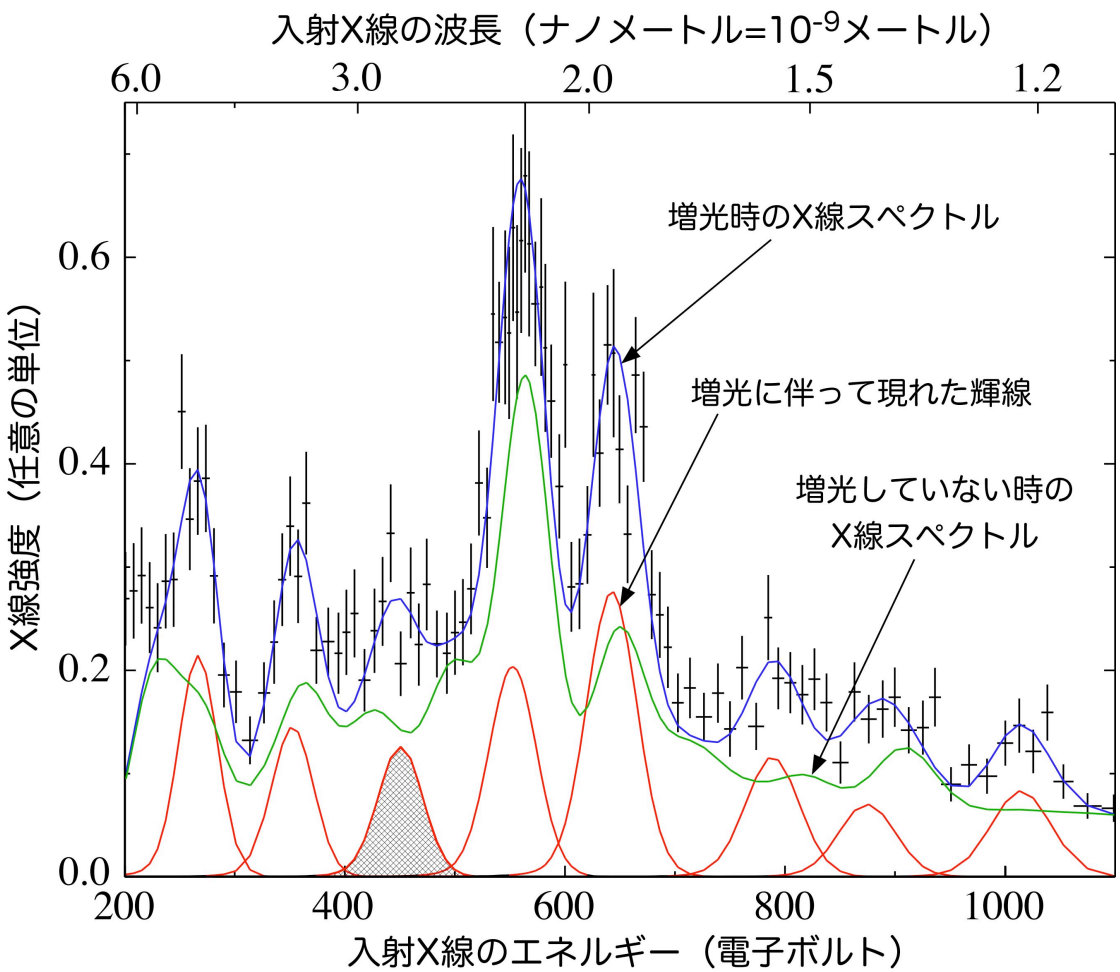
木星のX線オーロラ（チャンドラ衛星）

電荷交換反応とは

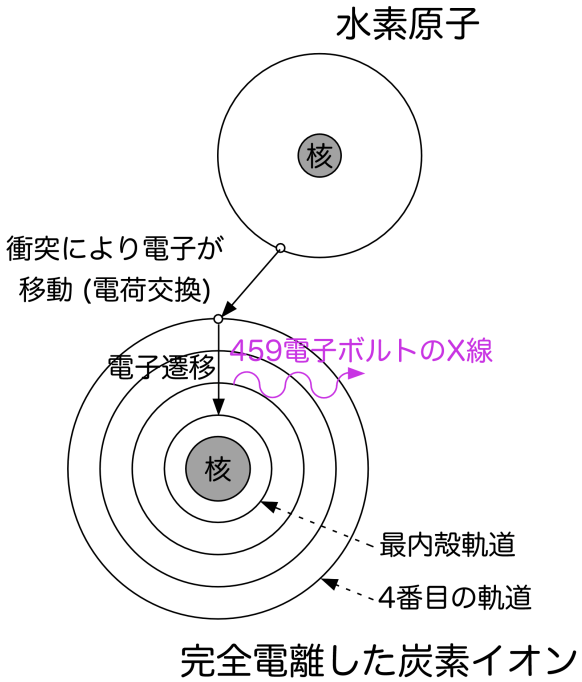


すざくが見つけた459電子ボルトの輝線

すざくが謎のX線増光のスペクトルに見つけた輝線は、電荷交換反応の確実な証拠



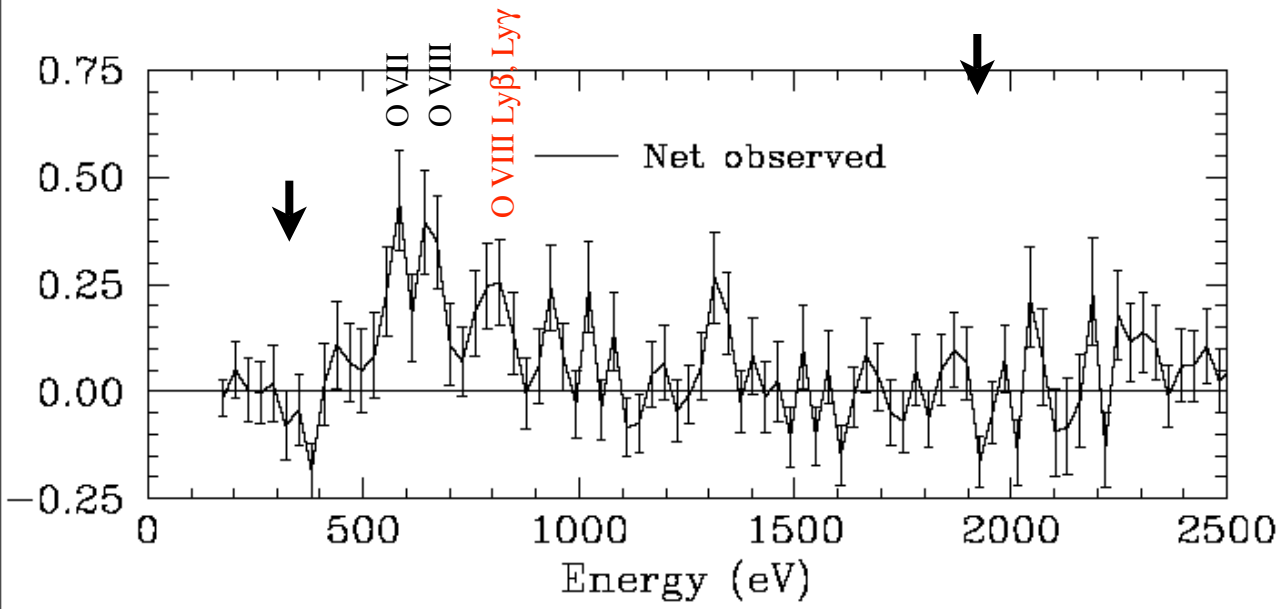
水素原子から奪った電子は、炭素の４番目の軌道にはいる。そのため、4番目の軌道から基底状態への遷移に対応するX線が強く出る。



米国のチャンドラ衛星、ヨーロッパのニュートン衛星の観測

エネルギー分解能（と感度）が十分でなく、炭素のn=4→1の輝線は見つけられなかった。

チャンドラ衛星　　ニュートン衛星



検出器の固有の線スペクトルでリアルではない。

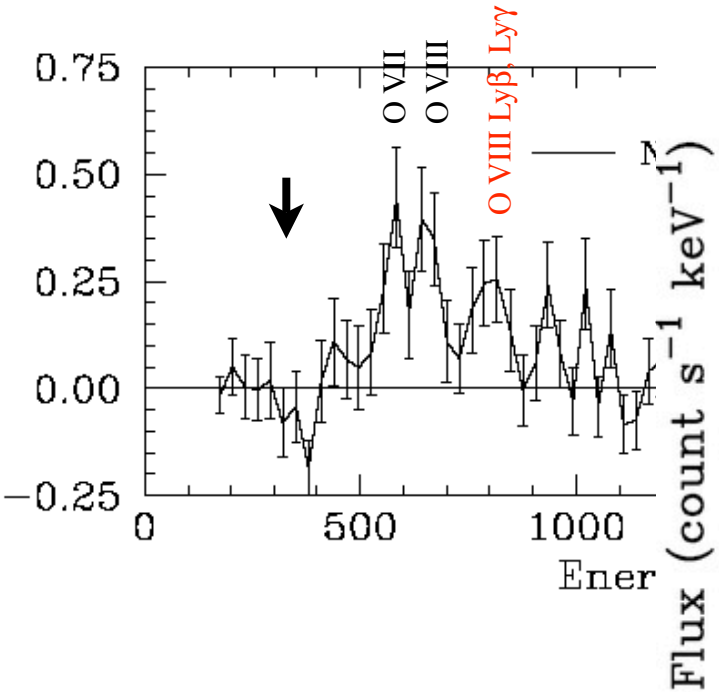
Dark moon by Chandra (Wargelin et al. 2004)

Hubble Deep Field North by XMM (Snowden et al 2004)

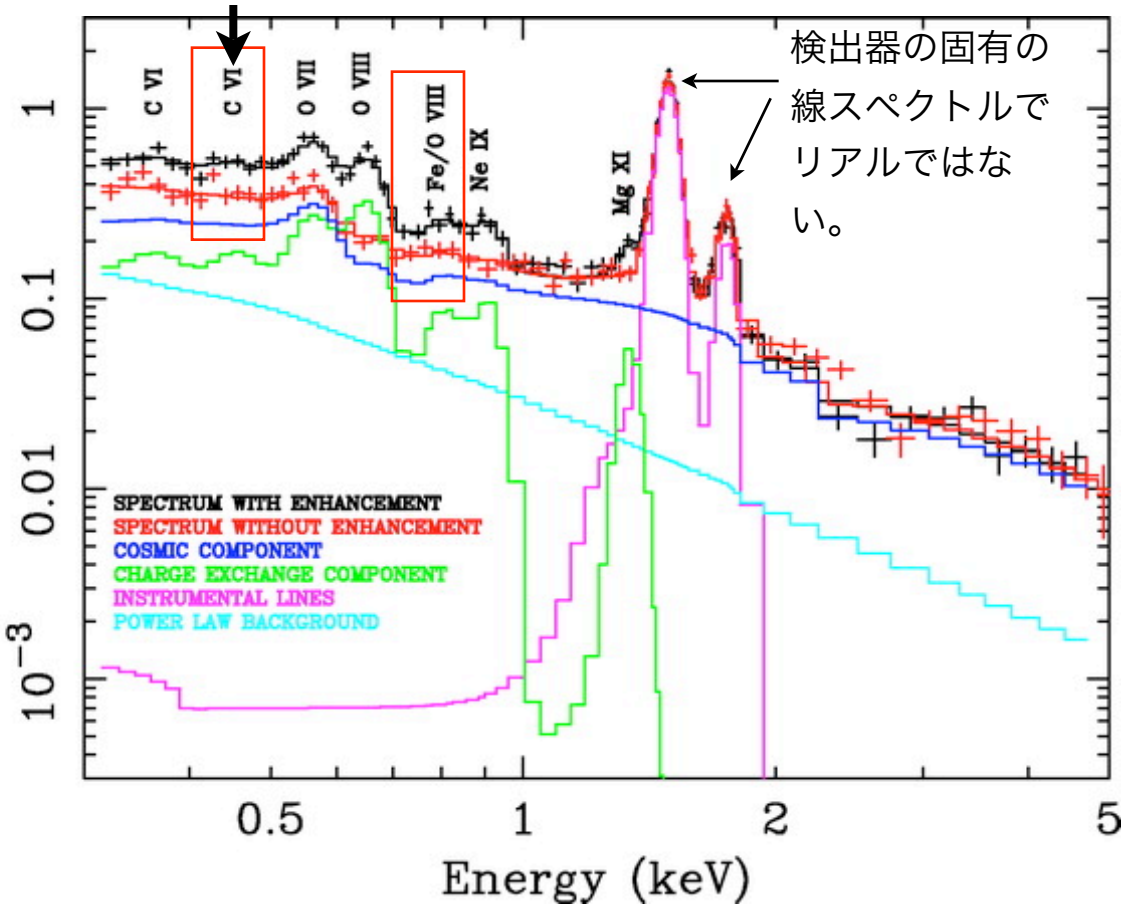
米国のチャンドラ衛星、ヨーロッパのニュートン衛星の観測

エネルギー分解能（と感度）が十分でなく、炭素のn=4→1の輝線は見つけられなかった。

チャンドラ衛星



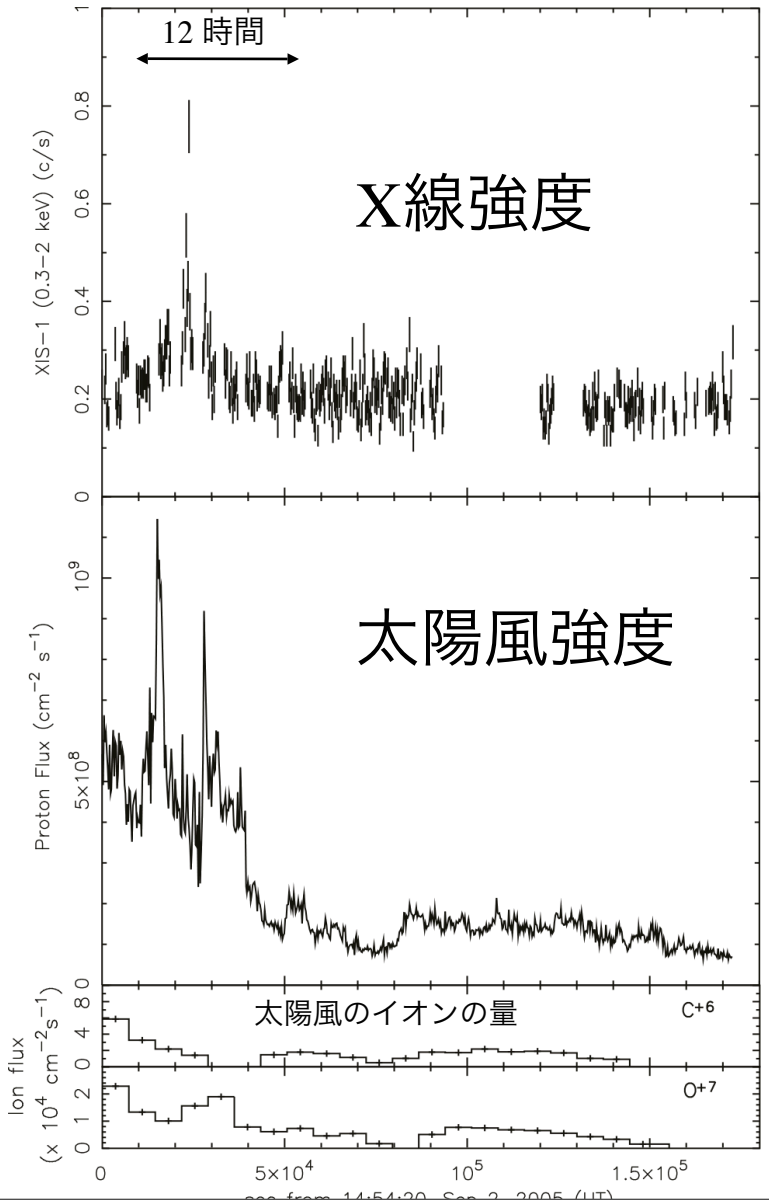
ニュートン衛星



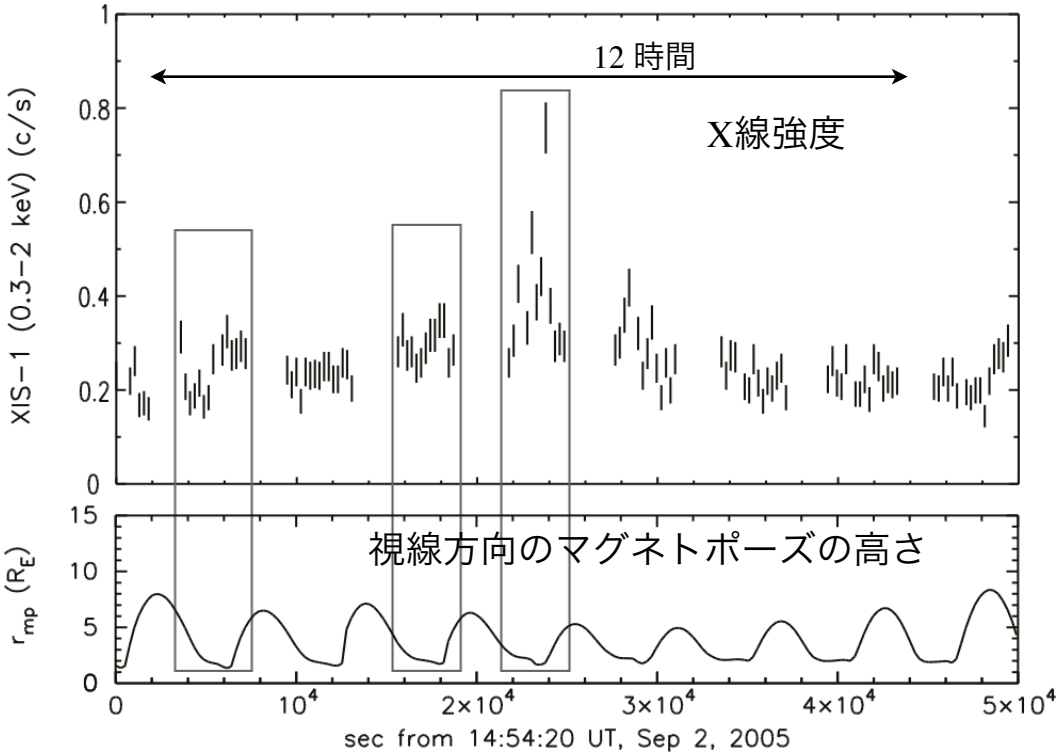
Dark moon by Chandra (Wargelin et al. 2004)

Hubble Deep Field North by XMM (Snowden et al 2004)

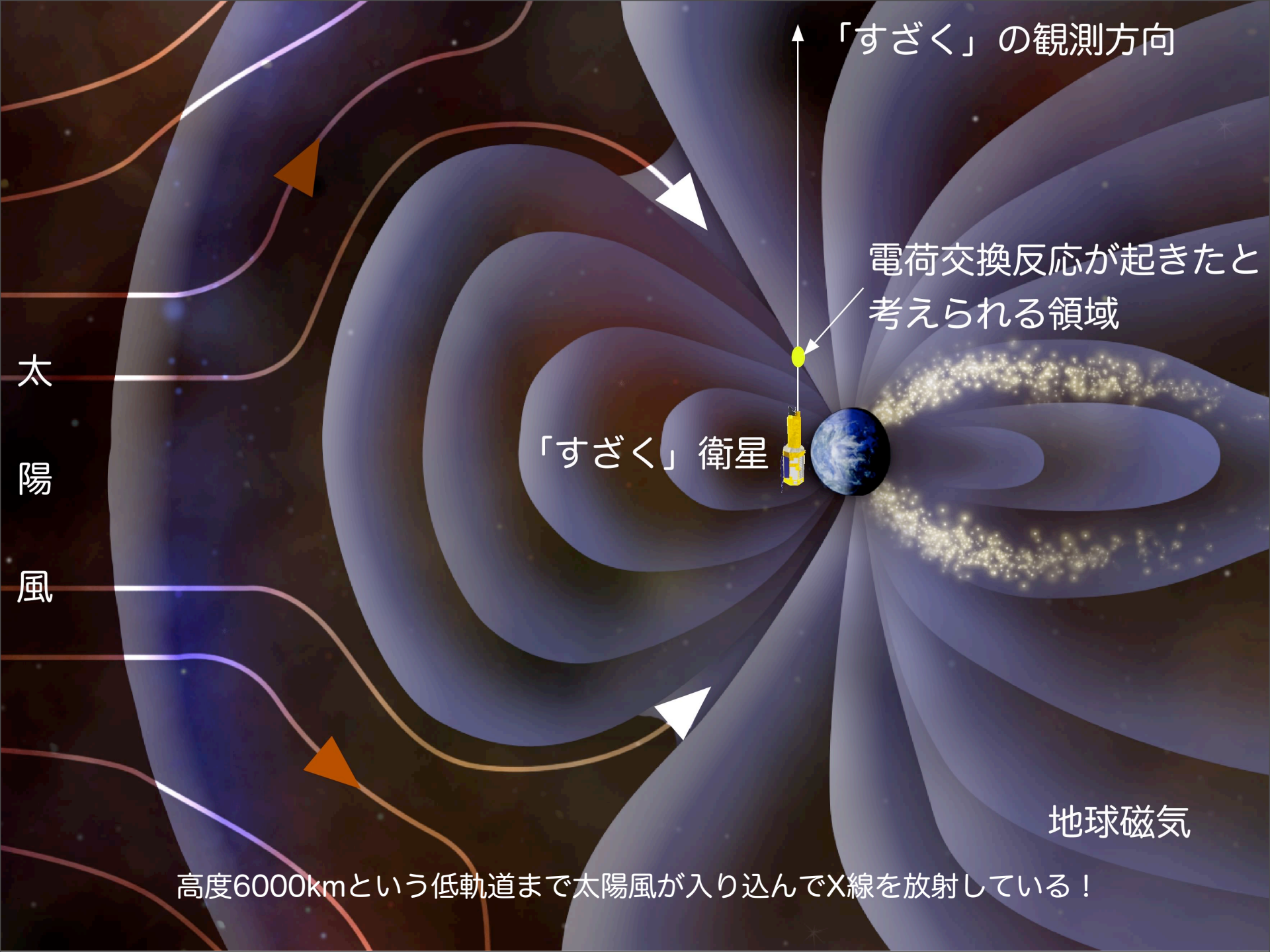
電荷交換反応はどこで起きていたか



X線増光時には太陽風強度も増えていた。しかし、太陽風とX線は、短い時間でみると相関していない。
X線の短い時間の変動は衛星の軌道運動を反映したいた。
X線は軌道運動が影響するほど、すぐ近くからきていたことになる。



マグネトポーズの高さ＝地球磁気圏に流れ込んできた太陽風の流れが地球磁場で止められる場所の高さ、と近似的に考えることができる。



高度6000kmという低軌道まで太陽風が入り込んでX線を放射している！

今後の研究の発展

- 惑星間空間にも希薄ながら中性物質が存在するので、太陽風イオンとの電荷交換反応によって太陽系全体がX線で光っていると考えられる。（実は、この放射は、すでに観測されているはずであるが、太陽系内と太陽系外の区別がついていないのが現状。）
- X線観測は、地球磁気圏、太陽系内天体、惑星空間、や太陽風自身を研究する新しい手段となる。研究の発展のためには、
  - よりエネルギー分解能のよい観測
  - 空間分解能のよい観測
  - 感度の高い観測

  が望まれる。
- 一方、太陽系外からのX線を観測にとっては、太陽系からの放射は”邪魔者”である。今後、すざくの観測で、”邪魔者”を理解することで、太陽系外からのX線放射の理解がすすむ。

謎のX線放射の起源は太陽風だった

～「すざく」がとらえた地球近傍における太陽風からの輝線放射～

空間的に広がった低エネルギーX線に対する世界最高の優れたエネルギー分解能により、1990年代のローサット衛星以来観測者たちを悩ませていた謎のX線放射の起源が、地球磁気圏に入り込んだ太陽風であることの確証を得た。これは、地球磁気圏や太陽系の新しい研究手段を切り開く。

金沢大学大学院・自然科学研究科 助教授　藤本龍一
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部　教授　満田和久